

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут водного господарства та
природооблаштування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики
та гідравлічних машин

01-06-63М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань
з навчальної дисципліни «Насоси та насосні станції»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні технології»
спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна
інженерія та водні технології»
галузі знань 19 «Будівництво та архітектура»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІВГП
Протокол № 4
від 19 листопада 2020 року

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання практичних завдань з навчальної дисципліни «Насоси та насосні станції» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» галузі знань 19 «Будівництво та архітектура» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Веремчук А. І., Тимощук В. С. – Рівне : НУВГП, 2020. – 36 с.

Укладачі:

Веремчук А. І., к.т.н., доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин;
Тимощук В. С., к.т.н., доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Відповідальний за випуск: Рябенко О. А., докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник групи забезпеченості спеціальності Хлапук М. М.

© Веремчук А. І.,
Тимощук В. С., 2020
© НУВГП, 2020

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	4
1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ	4
2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧ	9
3. ПРИКЛАДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ.....	12
ЛІТЕРАТУРА.....	24
ДОДАТКИ.....	25

ВСТУП

Як показує інженерна практика, фахівцям в області гідротехнічного і гідроенергетичного будівництва приходится вирішувати задачі, пов'язані з використанням гідравлічних машин.

Дисципліна «Насоси та насосні станції» є однією з профільюючих дисциплін, що вивчають здобувачі вищої освіти спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології». Вона повинна надати майбутнім фахівцям необхідні знання в області насосів, навчити їх правильно розуміти робочий процес в них і вміло добирати насоси для різноманітних умов їх застосування.

Метою даних методичних вказівок є допомога студентам самостійно вирішувати задачі з добору насосів та визначення різних режимів їх роботи.

1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

1. При вирішенні окремих завдань необхідно дотримуватись таких правил:

- а) записується умова задачі з вихідними даними;
- б) при виконанні розрахунків спочатку записуються розрахункові формули, а потім підставляються в них чисельні значення величин і наводиться кінцевий результат обрахувань (див. приклади вирішення задач);
- в) біля всіх величин проставляються одиниці вимірювання;
- г) графічна частина роботи (графіки) виконуються в стандартних масштабах.

2. *Основні параметри насосів.* Насосом називається гідравлічна машина для створення потоку рідкого середовища.

Насос характеризують такі основні параметри: подача Q ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{год}$, л/с); напір H (м); потужність N (кВт); коефіцієнт корисної дії η (%); частота обертання n (с^{-1} , об/хв); допустимий кавітаційний запас $\Delta h_{\text{доп}}$ (м); допустима вакуумметрична висота всмоктування $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$ (м).

Подачею насоса називається об'єм рідини, що перекачується ним за одиницю часу.

Напором насоса називається різниця питомих енергій рідини в нагнітальному і всмоктувальному патрубках.

Напір насоса в умовах проектування насосної установки визначається сумою геодезичних висот всмоктування і нагнітання і сумарних гідравлічних втрат напору за формулами:

$$H = H_{з.в.} + H_{з.н.} + h_g + h_n, \quad (1)$$

$$\text{або } H = H_r + \Sigma h \quad (2)$$

де $H_{з.в.}$ – геодезична висота всмоктування, яка визначається різницею відміток осі насоса і рівня води в нижньому б'єфі (рис.1); $H_{з.н.}$ – геодезична висота нагнітання, яка визначається різницею відміток рівня води у верхньому б'єфі і осі насоса; h_g і h_n – втрати напору відповідно у всмоктувальному і напірному трубопроводах.

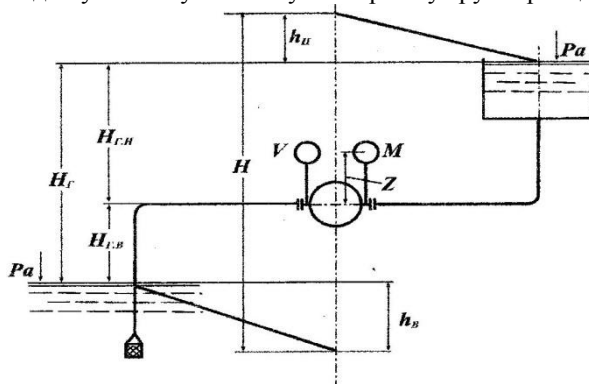


Рис. 1. Схема насосної установки.

В умовах експлуатації насосної установки напір насоса визначається показами приладів за формулою:

$$H = M + V + z + \frac{V_n^2 - V_g^2}{2g} \quad (3)$$

де M і V – покази манометра і вакуумметра в м; z – відстань по вертикалі від осі корпусу манометра до точки приєднання трубки вакуумметра в м; V_n і V_g – середні швидкості протікання рідини відповідно у нагнітальному і всмоктувальному патрубках насоса, м/с.

3. *Подібність насосів.* Попереднє визначення розрахункових параметрів насосів можливе на основі теорії подібності.

Наведені нижче формули подібності насосів дозволяють отримати при відомих параметрах потоку на моделі лопатевого насоса параметри натурального потоку.

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \frac{n_n}{n_m} \left(\frac{D_n}{D_m} \right)^3 \quad (4)$$

$$\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \left(\frac{D_H}{D_M}\right)^2 \quad (5)$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3 \left(\frac{D_H}{D_M}\right)^5 \quad (6)$$

Для випадку, коли $D_M = D_H$, тобто для одного і того ж насоса, формули подібності мають такий вигляд:

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M} \quad (7)$$

$$\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \quad (8)$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3 \quad (9)$$

Останні залежності дозволяють перерахувати параметри насоса з однієї частоти обертання на іншу. Значення допустимого кавітаційного запасу $\Delta h'_{доп}$ при частоті обертання n_1 визначається за значенням $\Delta h_{доп}$ при частоті обертання n за такою залежністю

$$\Delta h'_{доп} = \Delta h_{доп} \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \quad (10)$$

Допустиму вакуумметричну висоту всмоктування при зміні частоти обертання визначають так

$$H_{вак}' = 10 - (10 - H_{вак}^{доп}) \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \quad (11)$$

Коефіцієнт швидкохідності насоса чисельно дорівнює частоті обертання геометрично подібного насоса, який має такі розміри, що при напорі в 1 м він розвиває подачу 75 л/с. Його визначають за формулою

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (12)$$

тут n – частота обертання робочого колеса, об/хв.; Q і H – подача ($\text{м}^3/\text{с}$) і напір (м) при роботі насоса в оптимальному режимі, тобто з максимальним ККД.

Для насосів з двохстороннім входом в формулу підставляють $Q/2$, а для секційних насосів – напір, створюваний одним колесом.

За коефіцієнтом швидкохідності насоси класифікуються так:

- відцентрові тихохідні $50 < n_s < 80$,
- відцентрові нормальні $80 < n_s < 150$,
- відцентрові швидкохідні $150 < n_s < 350$,
- діагональні $350 < n_s < 600$,

- осьові

$$600 < n_s < 1200.$$

Область використання відцентрових насосів можна розширити шляхом обточування робочих коліс. При цьому використовують такі формули перерахунку параметрів насоса:

$$Q_{обт} = Q \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^{\kappa}, \quad H_{обт} = H \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^{2\kappa}, \quad N_{обт} = N \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^{3\kappa} \quad (13)$$

де κ – коефіцієнт, значення якого для відцентрових насосів приймається рівним 1 при $n_s < 200$ і 1,5 при $n_s > 200$.

ККД насоса зменшується на 1% на кожні 10% обточування робочого колеса при $n_s = 60 \dots 120$ і на кожні 4% обточування при $n_s > 120$

Рекомендовані максимально допустимі межі обточування коліс:

- при $60 < n_s < 120$ 15...20%,
- при $120 < n_s < 200$ 10...15%,
- при $200 < n_s < 300$ 5...10%.

Якщо зазначені межі перевищуються, то ККД насоса значно знижується.

4. Сумісна робота насосів і трубопроводів.

Режим роботи насоса можна визначити графічно побудовою характеристик насоса і трубопроводу. Характеристика трубопроводу будується за такими залежностями:

$$\begin{aligned} H_{mp} &= H_z + \Sigma h_w, & \Sigma h_w &= h_g + h_n, \\ h_g &= \left(\Sigma \xi_g + \lambda_g \frac{l_g}{d_g} \right) \frac{V_g^2}{2g}, & h_n &= (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n}{d_n} \frac{V_n^2}{2g}, \\ \lambda &= \frac{0,021}{d^{0,3}}. \end{aligned} \quad (14)$$

В наведених залежностях: H_z – геодезичний напір; h_g і h_n – втрати напору у всмоктувальній і напірній лініях насоса; d_g і d_n – діаметри відповідних трубопроводів; l_g і l_n – довжини трубопроводів; V_g і V_n – швидкості руху води; ξ_g – коефіцієнт місцевого опору у всмоктувальній лінії; 1,05...1,1 – коефіцієнт, який враховує місцеві опори в напірній лінії.

Характеристика трубопроводу це графік залежності напору від витрати. Для встановлення режиму роботи насоса в заданих умовах на графік з напірною характеристикою насоса у тому ж масштабі наносять характеристику трубопроводу (рис. 2).

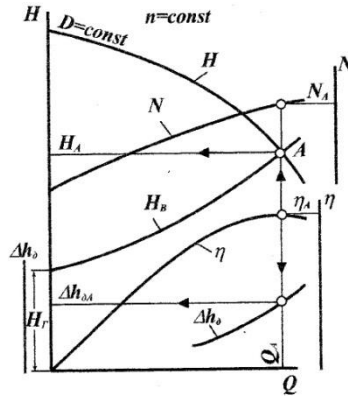


Рис.2. Визначення режиму роботи насоса.

Точка їх перетину визначає всі параметри насоса.

При роботі двох і більше насосів на один спільний або декілька з'єднаних між собою трубопроводів маємо паралельне сполучення насосів. Послідовною називається робота насосів, коли перший насос, що забирає воду із джерела, подає її у всмоктувальну лінію другого насоса, а останній у напірну лінію.

Для встановлення режиму роботи насосів, які працюють паралельно чи послідовно, необхідно будувати сумарну їх напірну характеристику і на цей графік нанести в тому ж масштабі характеристику трубопроводу.

Якщо насоси подають воду декількома напірними трубопроводами, то необхідно також будувати сумарну характеристику трубопроводів, що працюють паралельно.

Крім графічного способу встановлення режиму роботи насосів, застосовують аналітичний спосіб. Для цього в межах робочої частини напірну характеристику представляють рівнянням

$$H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2 \quad (15)$$

де H – напір, створюваний насосом при заданій подачі Q ; H_{ϕ} – фіктивний напір; S_{ϕ} – фіктивний опір насоса.

Для визначення подачі і напору насоса необхідно розв'язати систему рівнянь

$$\begin{cases} H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2 \\ H = H_r + S_{rp} Q^2 \end{cases} \quad (16)$$

Останнє рівняння є рівнянням характеристики трубопроводу.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАДАЧ

Варіант завдання студент вибирає самостійно за шифром залікової книжки.

Задача 1. Відцентровим насосом вода із водосховища подається у відвідний канал. Визначити напір насоса, потрібний для його роботи в заданих умовах: подача Q ; довжина всмоктувальної лінії l_{ϕ} і її діаметр D_{ϕ} ; довжина напірної лінії l_n і її діаметр D_n . Відмітка рівня води у водосховищі $\nabla 1=100\text{м}$, а відмітка рівня води у відвідному каналі $\nabla 2$. На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ($\xi_c=3$), три коліна ($\xi_k=0,4$) і ексцентричний перехід ($\xi_n=0,18$) ($\xi_n = 0,18$).

Пара- метри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Остання цифра шифру										
$Q, \text{ л/с}$	75	100	130	150	180	210	250	310	350	400
$D_{\phi}, \text{ мм}$	200	250	300	300	350	350	400	450	450	500
$D_n, \text{ мм}$	300	350	400	400	450	500	500	600	600	700
Передостання цифра шифру										
$l_n, \text{ м}$	1000	1200	800	1100	1500	700	900	1300	950	1400
$l_{\phi}, \text{ м}$	20	25	30	35	40	35	30	25	20	30
Третя з кінця цифра шифру										
$\nabla 2, \text{ м}$	125	130	135	140	145	150	145	140	135	130

Задача 2. Визначити напір насоса діючої насосної установки за такими даними: подача насоса Q , діаметр всмоктувального патрубку насоса d_{ϕ} , діаметр напірного патрубку d_n , показ манометра M , показ вакуумметра V , відстань по вертикалі між точками виміру тиску z .

Пара-метри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Остання цифра шифру										
Q , л/с	40	100	95	90	85	80	75	70	65	60
$d_{\text{ш}}$, мм	80	200	150	150	150	150	150	150	150	100
$d_{\text{в}}$, мм	100	250	200	200	200	200	200	200	200	150
Передостання цифра шифру										
M , Мпа	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
V , Мпа	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02
Третя з кінця цифра шифру										
z , м	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3

Задача 3. Для насоса ..., користуючись його характеристиками при обертах n , побудувати нові характеристики при обертах n_1 .

Остання цифра шифру					
	1	2	3	4	5
Марка	K20/30	K45/30	K90/20	K90/35	K90/55
	6	7	8	9	0
Марка	K160/30	K290/30	D200-36	K90/85	D200-95
Передостання цифра шифру					
	1	2	3	4	5
n_1 , об/хв	$n-150$	$n-200$	$n-250$	$n-300$	$n-350$
	6	7	8	9	0
n_1 , об/хв	$n+150$	$n+150$	$n+150$	$n+150$	$n+150$

Задача 4. Добрати насос для забезпечення заданої подачі води в кількості Q_3 із каналу в напірний резервуар з відміткою рівня води в ньому $\nabla 2$. Довжина напірного сталевго трубопроводу $l_{\text{ш}}$, а всмоктувального - $l_{\text{в}}$. Відмітка рівня води в каналі $\nabla 1=100\text{м}$. На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ($\xi_c=3$), три коліна ($\xi_k=0,4$) і ексцентричний перехід ($\xi_n=0,18$).

Пара-метри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Остання цифра шифру										
Q_3 , л/с	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Передостання цифра шифру										
$l_{\text{ш}}$, м	700	800	900	1000	600	700	800	1100	900	1000
$l_{\text{в}}$, м	20	25	30	20	25	30	35	30	25	20
Третя з кінця цифра шифру										
$\nabla 2$, м	120	125	130	135	140	150	145	140	135	130

Задача 5. Побудувати графік паралельної роботи двох насосів, добраних в задачі 4, на напірний трубопровід. Визначити спільну подачу і подачу кожного насоса, напір, потужність, ККД і допустимий кавітаційний запас. Втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях прийняти рівними 1,5 м при максимальному ККД насоса.

Задача 6. Насос, добраний в задачі 4, працює на розгалужений трубопровід. Визначити подачу в точки 3 і 4. Вода забирається з джерела з відміткою рівня в ньому $\nabla 1=100\text{м}$ і подається на відмітку в точці 3 ($\nabla 3$) і в точці 4 ($\nabla 4$). Втратами напору у внутрішньостанційних комунікаціях знехтувати. Довжини ділянок та їх діаметри задаються в таблиці.

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Остання цифра шифру										
$L_{1-2}, \text{м}$	400	100	300	200	200	300	250	300	350	300
$d_{1-2}, \text{мм}$	300	200	150	300	200	150	300	200	150	300
Передостання цифра шифру										
$L_{2-3}, \text{м}$	200	250	300	350	400	450	500	450	400	300
$d_{2-3}, \text{мм}$	150	100	75	150	100	75	150	100	75	150
Третя з кінця цифра шифру										
$L_{2-4}, \text{м}$	300	400	450	500	450	400	350	300	250	200
$d_{2-4}, \text{мм}$	150	75	100	150	75	100	100	150	100	200
Остання цифра шифру										
$\nabla 3, \text{м}$	110	115	120	112	114	116	110	115	120	113
$\nabla 4, \text{м}$	113	120	115	118	110	120	115	110	110	108

Задача 7. Насос, аналітична характеристика якого описується рівнянням $H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2$, подає воду із каналу в напірний резервуар. Відмітка рівня води в каналі $\nabla 1=100\text{м}$, а в напірному резервуарі $\nabla 2$. Довжина напірної лінії L , а її діаметр d . Визначити подачу і напір насоса аналітичним методом.

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Остання цифра шифру										
$H_{\phi}, \text{м}$	34,2	44,7	46	53,6	62	53,6	62	63,3	47,3	46
$S_{\phi}, \text{с}^2/\text{м}$	129	406	40	21	5,26	21	5,26	9,8	83,5	40

5										
Передостання цифра шифру										
$L, м$	1000	1200	800	1100	1500	700	900	1300	950	1400
$d, мм$	500	300	600	700	1000	700	1000	800	500	600
Третя з кінця цифра шифру										
$\nabla 2, м$	125	130	135	140	145	150	145	140	135	130

3. ПРИКЛАДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Відцентровим насосом вода із водосховища подається у відвідний канал. Визначити напір насоса, потрібний для його роботи в заданих умовах: подача $Q=80л/с$, довжина всмоктувальної лінії $l_6=25м$, її діаметр $D_6=300мм$; довжина напірної лінії $l_n=500м$, її діаметр $D_n=200мм$. Відмітка рівня води у відвідному каналі $\nabla 2=125м$, відмітка рівня води у водосховищі $\nabla 1=75м$. на всмоктувальній лінії встановлено приймальний клапан ($\xi_c=3,7$), три коліна ($\xi_k=0,4$) і ексцентричний перехід ($\xi_n=0,18$).

Напір насоса визначаємо за формулою

$$H = H_z + \Sigma h_w,$$

де H_z - геодезичний напір;

$$H_z = \nabla 2 - \nabla 1 = 125 - 75 = 50 м,$$

$\Sigma h_w = h_6 + h_n$ - втрати напору;

$$h_6 = \left(\Sigma \xi_6 + \lambda_6 \frac{l_6}{d_6} \right) \frac{V_6^2}{2g}, \quad h_n = (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n}{d_n} \frac{V_n^2}{2g},$$

$$\lambda_6 = \frac{0,021}{d_6^{0,3}} = \frac{0,021}{0,3^{0,3}} = 0,03,$$

$$\lambda_n = \frac{0,021}{d_n^{0,3}} = \frac{0,021}{0,2^{0,3}} = 0,034.$$

V_6 і V_n – середні швидкості руху води в трубопроводах;

$$V_6 = \frac{4Q}{\pi d_6^2} = \frac{4 \cdot 0,08}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,13 м/с,$$

$$V_n = \frac{4Q}{\pi d_n^2} = \frac{4 \cdot 0,08}{3,14 \cdot 0,2^2} = 2,55 м/с.$$

$\Sigma \xi_6$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії,

$$\Sigma \xi_{\epsilon} = \xi_c + 3\xi_{\kappa} + \xi_n = 3,7 + 3 \cdot 0,4 + 0,18 = 5,08.$$

Отже

$$h_{\epsilon} = \left(5,08 + 0,03 \frac{25}{0,3} \right) \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 0,5 \text{ м},$$

$$h_n = 1,1 \cdot 0,034 \cdot \frac{500}{0,2} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 31 \text{ м}.$$

Тоді

$$H = 50 + 0,5 + 31 = 81,5 \text{ м}.$$

Задача 2. Визначити напір насоса діючої насосної установки за такими даними: подача насоса $Q = 1300 \text{ л/с}$, діаметр всмоктувального патрубку насоса $d_{\epsilon} = 700 \text{ мм}$, діаметр напірного патрубку $d_n = 500 \text{ мм}$, показ манометра $M = 0,85 \text{ Мпа}$, показ вакуумметра $V = 0,015 \text{ Мпа}$, відстань по вертикалі між точками виміру тиску $z = 0,5 \text{ м}$.

Напір насоса визначається за формулою

$$H = M + V + z + \frac{V_n^2 - V_{\epsilon}^2}{2g},$$

де $M = 0,85 \cdot 100 = 85 \text{ м}$ (тиску 1 Мпа відповідає напір 100 м);

$V = 0,015 \cdot 100 = 1,5 \text{ м}$;

$$V_{\epsilon} = \frac{4Q}{\pi d_{\epsilon}^2} = \frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,7^2} = 3,38 \text{ м/с},$$

$$V_n = \frac{4Q}{\pi d_n^2} = \frac{4 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 0,5^2} = 6,63 \text{ м/с}.$$

Отже

$$H = 85 + 1,5 + 0,5 + \frac{6,63^2 - 3,38^2}{2 \cdot 9,81} = 88,66 \text{ м}.$$

Задача 3. Для насоса К90/20, користуючись його характеристиками при обертах $n = 2900 \text{ об/хв}$, побудувати нові характеристики H_1 , N_1 , η_1 і Δh_1 при обертах $n_1 = 2500 \text{ об/хв}$.

Користуючись характеристиками насоса, які наведені в додатку, виписуємо параметри насоса при частоті обертання робочого колеса $n = 2900 \text{ об/хв}$.

За формулами

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{n_1}{n}, \quad \frac{H_1}{H} = \left(\frac{n_1}{n} \right)^2, \quad \frac{N_1}{N} = \left(\frac{n_1}{n} \right)^3,$$

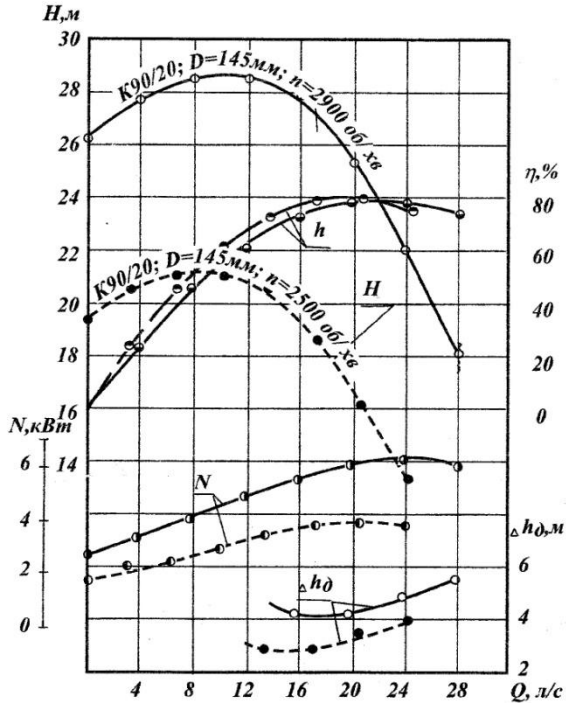
$$\Delta h_{\text{доп}}^1 = \Delta h_{\text{доп}} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2$$

визначаємо параметри насоса при $n_1=2500\text{об/хв.}$

Всі дані записуємо до таблиці.

Параметри при $n=2900\text{об/хв}$					Параметри при $n_1=2500\text{об/хв}$				
$Q,$ л/с	$H,$ м	$N,$ кВт	$\eta,$ $\%$	$\Delta h,$ м	$Q_1,$ л/с	$H_1,$ м	$N_1,$ кВт	$\eta_1,$ $\%$	$\Delta h_1,$ м
0	26,3	2,6	0	-	0	19,5	1,66	0	-
4	27,9	3,4	26	-	3,45	20,8	2,18	26	-
8	28,6	4,1	48	-	6,9	21,3	2,63	48	-
12	28,6	5,0	63	-	10,35	21,3	3,20	63	-
16	28,0	5,7	75	4,6	13,8	20,8	3,66	75	3,42
20	25,8	6,2	80	4,6	17,25	19,15	3,97	80	3,42
24	22,3	6,4	81	5,3	20,7	16,6	4,10	81	3,94
28	18,4	6,2	77	6,0	24,15	13,7	3,97	77	4,46

За даними таблиці будуть характеристики насоса при n і n_1 та порівнюють їх. Графіки доцільно будувати на міліметровому папері. При цьому масштаб для напору вибирають таким, щоб в 1см графіка було не більше 1...2 (5) м напору. Масштаб для подач і інших параметрів вибирається стандартним.



Задача 4. Добрати насос для забезпечення заданої подачі води в кількості $Q_3=140\text{ л/с}$ із каналу в напірний резервуар з відміткою рівня води в ньому $\nabla 2=440\text{ м}$. Довжина напірного сталевого водогону $l_n=500\text{ м}$, а всмоктувального - $l_в=30\text{ м}$. Відмітка рівня води в каналі $\nabla 1=400\text{ м}$. На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку ($\xi_c=3$), три коліна ($\xi_k=0,4$) і ексцентричний перехід ($\xi_n=0,18$).

Визначаємо діаметри водогонів за допустимими швидкостями руху води в них:

$$[V_n]=1,5 \dots 2,5 \text{ м/с}, \quad [V_в]=0,8 \dots 1,2 \text{ м/с}.$$

$$D_n = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[V_n]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 2}} = 0,29 \text{ м},$$

$$D_в = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[V_в]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 1}} = 0,42 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартні діаметри, а саме $D_n=300\text{ мм}$, $D_в=400\text{ мм}$.

Визначаємо коефіцієнти тертя води у водогонах

$$\lambda_n = \frac{0,021}{D_n^{0,3}} = \frac{0,021}{0,3^{0,3}} = 0,03,$$

$$\lambda_g = \frac{0,021}{D_g^{0,3}} = \frac{0,021}{0,4^{0,3}} = 0,028.$$

Фактичні швидкості руху води у водогонах

$$V_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi D_n^2} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,3^2} = 1,98 \text{ м/с},$$

$$V_g = \frac{4 \cdot Q}{\pi D_g^2} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,4^2} = 1,11 \text{ м/с}.$$

Визначаємо втрати напору у водогонах

$$h_b = \left(\sum \xi_b + \lambda_b \frac{l_b}{d_b} \right) \frac{V_b^2}{2g} = \left(4,38 + 0,028 \frac{30}{0,4} \right) \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,81} = 0,4 \text{ м},$$

$$h_n = (1,05 \dots 1,1) \lambda_n \frac{l_n}{d_n} \frac{V_n^2}{2g} = 1,1 \cdot 0,03 \frac{500}{0,3} \cdot \frac{1,98^2}{2 \cdot 9,81} = 11 \text{ м}$$

Геодезичний напір складає

$$H_z = \nabla 2 - \nabla 1 = 440 - 400 = 40 \text{ м}.$$

Визначаємо напір насоса

$$H = H_z + h_b + h_n = 40 + 0,4 + 11 = 51,6 \text{ м}.$$

За визначеним напором та подачею 140 л/с, використовуючи зведені графіки областей застосування насосів, добираємо насос D500-65 ($D_{p.k.} = 465 \text{ мм}$; $n = 1450 \text{ об/хв}$).

Режим роботи насоса встановлюємо графічним способом, для чого на графік з напірною характеристикою насоса в тому ж масштабі наносимо приведену характеристику водогону

$$H_g = H_z + S Q^2,$$

де S - гідравлічний опір приведенного водогону

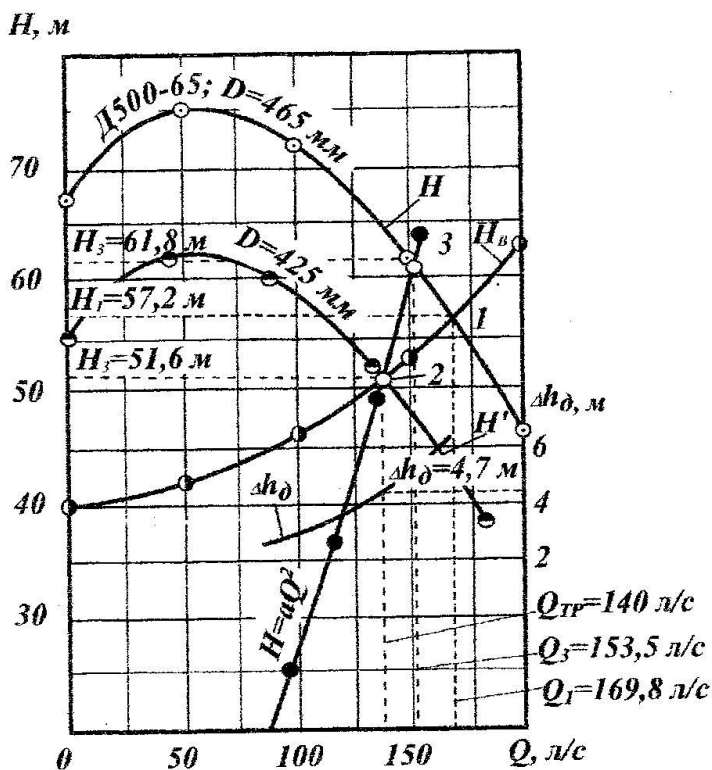
$$S = \frac{h_n + h_g}{Q_n^2} = \frac{11 + 0,4}{0,14^2} = 591 \text{ с}^2 \cdot \text{м}^{-5}.$$

Рівняння характеристики водогону

$$H_g = 40 + 591 Q^2.$$

Координати характеристики водогону визначаємо в таблиці

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,05	0,10	0,15	0,20
$591Q^2, \text{ м}$	0	1,48	5,91	13,3	23,6
$H_0, \text{ м}$	40,0	41,8	45,91	53,3	63,6



Характеристика водогону H_0 перетинає характеристику насоса у точці 1, де $Q_I=169$ л/с, що перебільшує потрібну подачу. Для зменшення подачі до потрібної необхідно зменшити діаметр робочого колеса насоса. При обточеному колесі параметри насоса (подача і напір) змінюються по перехідній кривій $H=\alpha Q^2$, де α – коефіцієнт, який визначається розрахунковими параметрами насоса.

$$\alpha = \frac{H_p}{Q_n^2} = \frac{51,6}{0,14^2} = 2633 \text{ м}^{-5} \cdot \text{с}^2.$$

Координати перехідної кривої визначаємо в таблиці

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,0975	0,117	0,1365	0,156
$H=\alpha Q^2, \text{ м}$	25	36	49	64

Побудувавши перехідну криву, отримаємо точку 3.
Визначаємо діаметр обточеного робочого колеса

$$D_{обт} = D \frac{Q_n}{Q_3} = 465 \frac{140}{153,5} = 424 \text{ мм},$$

$$D_{обт} = D \sqrt{\frac{H_p}{H_3}} = 465 \sqrt{\frac{51,6}{61,8}} = 424,9 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D_{обт} = 425 \text{ мм}$.

Визначаємо коефіцієнт швидкохідності насоса

$$n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q_{онт}/2}}{H_{онт}^{3/4}} = 3,65 \frac{1450 \sqrt{0,139/2}}{65^{3/4}} = 60,8 \text{ об/хв}.$$

Ступінь обточування робочого колеса

$$p = \frac{D - D_{обт}}{D} \cdot 100\% = 8,6\%,$$

що менше допустимого 20% для даного насоса.

Перераховуємо в таблиці характеристику насоса на новий діаметр за формулами

$$Q_{обт} = Q \frac{D_{обт}}{D}, \quad H_{обт} = H \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^2.$$

При $D, \text{ мм}$	$Q, \text{ л/с}$	0	50	100	150	200
	$H, \text{ м}$	66,5	75	72	63	46,5
При $D_{обт}, \text{ мм}$	$Q_{обт}, \text{ л/с}$	0	45,5	91	136,5	182
	$H_{обт}, \text{ м}$	55,2	62,3	59,8	52,3	38,6

Як видно, характеристика насоса з обточеним колесом перетинає характеристику водогону в точці 2, де подача відповідає потрібній.

Задача 5. Побудувати графік паралельної роботи двох насосів Д2000-21 ($D_{р.к.}=460 \text{ мм}$, $n=980 \text{ об/хв.}$) на напірний водогін довжиною $l=513 \text{ м}$, діаметром $D=800 \text{ мм}$ при $H_r=16 \text{ м}$. Визначити спільну подачу і подачу кожного насоса, напір, потужність, ККД і допустимий кавітаційний запас. Втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях прийняти рівними $1,5 \text{ м}$ при максимальному ККД насоса.

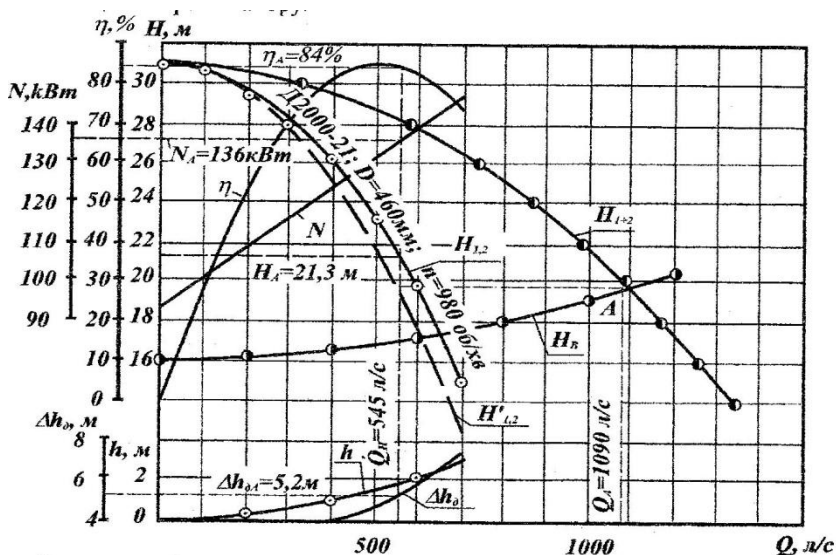
Переносимо на графік характеристику насоса.

Визначаємо гідравлічний опір внутрішньостанційних комунікацій

$$S_{cm} = \frac{h}{Q^2} = \frac{1,5}{0,5^2} c^2 \cdot m^{-5},$$

тут Q – подача (m^3/c) насоса при максимальному ККД.

Визначаємо в таблиці координати характеристики втрат напору у внутрішньостанційних комунікаціях, за якими будемо характеристику h .



Знижуючи напірну характеристику $H_{1,2}$ насоса на втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях, отримаємо напірну характеристику $H'_{1,2}$, користуючись якою, будемо сумарну характеристику двох паралельно працюючих насосів H'_{1+2} .

Визначаємо коефіцієнт тертя в напірному водогоні

$$\lambda_g = \frac{0,021}{D^{0,3}} = \frac{0,021}{0,8^{0,3}} = 0,0224,$$

Рівняння характеристику водогону має вигляд

$$H_6 = H_c + 1,1\lambda_6 \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2}.$$

Після підстановки величин отримаємо

$$H_6 = H_c + \frac{l}{D} \cdot \frac{16Q^2}{2g \cdot \pi^2 \cdot D^4} = 16 + 1,1 \cdot 0,224 \cdot \frac{513}{0,8} \cdot \frac{16Q^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2 \cdot 0,8^4} =$$

$$= 16 + 3,11Q^2.$$

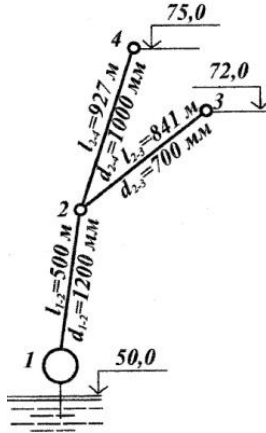
Задаємося витратами і визначаємо в таблиці координати характеристики водогону.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$3,11Q^2, \text{ м}$	0	0,12	0,50	1,12	1,99	3,11	4,48
$H_6 = 16 + 3,11Q^2, \text{ м}$	16,0	16,12	16,50	17,12	17,99	19,11	20,48

За даними таблиці будуємо характеристику водогону H_n , перетин якої з характеристикою H'_{1+2} визначає робочу точку А, за якою встановлюємо сумарну подачу двох насосів $Q_A = 1090$ л/с. подача кожного з них складає 545 л/с. при цій подачі можна визначити решту параметрів.

$Q_A, \text{ л/с}$	$Q_H, \text{ л/с}$	$H, \text{ м}$	$N, \text{ кВт}$	$\eta, \%$	$\Delta h_B, \text{ м}$
1090	545	21,3	136	84	5,2

Задача 6. Насос 1000В-4/63 працює на розгалужений трубопровід. Визначити подачу в точки 3 і 4. Вода забирається з джерела з відміткою рівня в ньому $\nabla 1=100\text{м}$ і подається на відмітку в точці 3 ($\nabla 3=72 \text{ м}$) і в точці 4 ($\nabla 4=75\text{м}$). Втрати напору у внутрішньостанційних комунікаціях знехтувати. Довжини ділянок та їх діаметри задаються на схемі

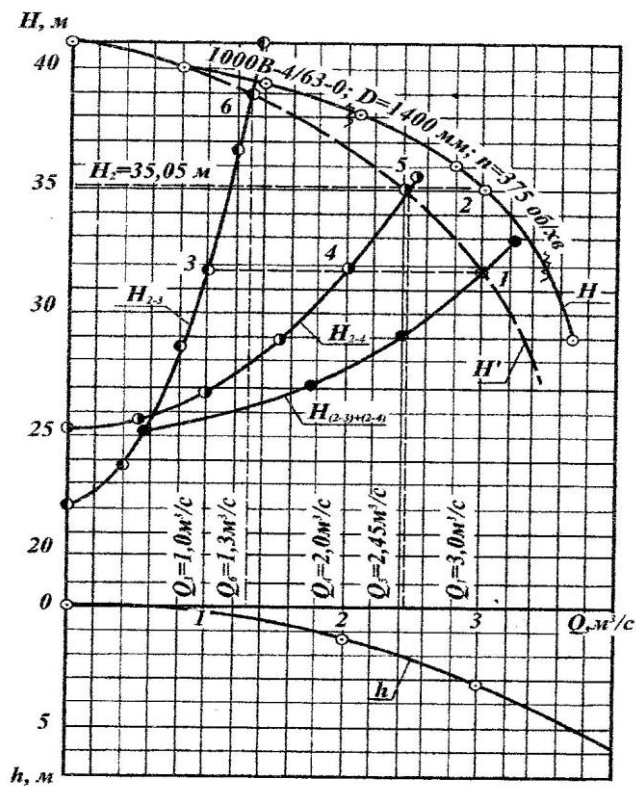


Переносимо на графік напірну характеристику насоса Н. Будемо криву залежності втрат напору від витрати у водогоні від початку всмоктувальної лінії до точки розгалуження 2 за рівнянням

$$h_{1-2} = 1,1 A_{1-2} L_{1-2} Q^2 = 1,1 \cdot 0,654 \cdot 10^{-6} \cdot 500 Q^2 = 0,36 Q^2.$$

Координати визначаємо в таблиці.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	1	2	3	4
$h_{1-2} = 0,36 Q^2, \text{ м}$	0	0,36	1,44	3,24	5,75



Віднімаючи від напірної характеристики насоса H втрати напору h_{1-2} , отримаємо приведену напірну характеристику насоса H' .

Складемо рівняння характеристик відгалужень 2-3 і 2-4 :

$$H_{2-3} = H_{c(2-3)} + 1,1A_{2-3}L_{2-3}Q^2,$$

$$H_{2-4} = H_{c(2-4)} + 1,1A_{2-4}L_{2-4}Q^2.$$

Тут

$$H_{c(2-3)} = \nabla 3 - \nabla 1 = 72 - 50 = 22\text{ м},$$

$$H_{c(2-4)} = \nabla 4 - \nabla 1 = 75 - 50 = 25\text{ м}.$$

A_{2-3} і A_{2-4} – коефіцієнти питомих опорів трубопроводів, які приймаються за додатком.

$$A_{2-3} = 0,01098c^2m^{-6}; \quad A_{2-4} = 0,001699c^2m^{-6}.$$

Отже

$$H_{2-3} = 22 + 1,1 \cdot 0,01098 \cdot 841Q^2 = 22 + 10,16Q^2,$$

$$H_{2-4} = 25 + 1,1 \cdot 0,001699 \cdot 927Q^2 = 25 + 1,73Q^2,$$

За отриманими рівняннями в таблицях визначаємо координати характеристик відгалужень.

$Q, m^3/c$	0	0,4	0,8	1,2
$10,16Q^2, m$	0	1,63	6,50	14,63
H_{2-3}, m	22,0	23,63	28,50	36,63

$Q, m^3/c$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$1,73Q^2, m$	0	0,43	1,73	3,89	6,92	10,81
H_{2-4}, m	25,0	25,43	26,73	28,89	31,92	35,81

За даними таблиць будемо характеристики відгалужень 2-3 і 2-4, які в подальшому складаємо, як паралельно працюючі. Отримаємо сумарну характеристику відгалужень $H_{(2-3)+(2-4)}$.

Перетин цієї характеристики з характеристикою насоса H' встановлює робочу точку 1. Вона визначає подачу насоса $Q_1 = 3,0 m^3/c$, за якою з напірної характеристики H визначаємо значення напору $H_2 = 35,05 m$, створюваного насосом. Перетин горизонталі, проведеної через точку 1, з характеристиками відгалужень H_{2-3} і H_{2-4} визначає точки 3 і 4, які вказують подачу в точки 3 і 4, тобто:

$$Q_3 = 1,0 m^3/c \quad \text{і} \quad Q_4 = 2,0 m^3/c.$$

Якщо відключити одне з відгалужень, то робочі точки отримуються на перетині характеристик відгалужень з характеристикою H' , тобто точки 5 і 6.

Тоді

$$Q_5 = 2,45 m^3/c \quad \text{і} \quad Q_6 = 1,3 m^3/c.$$

Задача 7. Насос, аналітична характеристика якого описується рівнянням $H = 25,2 - 2590Q^2$, подає воду із каналу в напірний резервуар. Відмітка рівня води в каналі $\nabla_1 = 100m$, а в напірному резервуарі $\nabla_2 = 108 m$. Довжина напірної лінії $L = 1237 m$, а її діаметр $d = 200 mm$. Визначити подачу і напір насоса аналітичним методом.

Складаємо характеристику напірної лінії

$$H = H_c + SQ^2,$$

де $H_c = \nabla 2 - \nabla 1 = 108 - 100 = 8\text{ м}$;

$$S = 1,1AL = 1,1 \cdot 6,959 \cdot 1237 = 9469\text{ с}^2\text{ м}^{-5}.$$

$A=6,959\text{ с}^2\text{ м}^{-6}$ – для $d=200\text{ мм}$ (дивись додаток).

Тоді, характеристика напірної лінії набуває вигляду

$$H = 8 + 9469Q^2.$$

Вирішуємо систему рівнянь, складену із рівняння насоса і рівняння напірної лінії.

$$\begin{cases} H = 25,2 - 2590Q^2 \\ H = 8,0 + 9469Q^2 \end{cases}$$

Отримаємо $Q = 37,8\text{ л/с}$, $H = 21,5\text{ м}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каталог насосов, применяемых в мелиорации. М. : Росоргтехводстрой, 1988. 229 с.
2. Насоси і меліоративні насосні станції / Петрик О. Д., Подласов О. В., Євресенко Ю. П., Під. ред. О. Д. Петрика. Львів. : Вища школа. 1987. 320 с.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. : Машиностроение, 1975. 560 с.

ДОДАТКИ

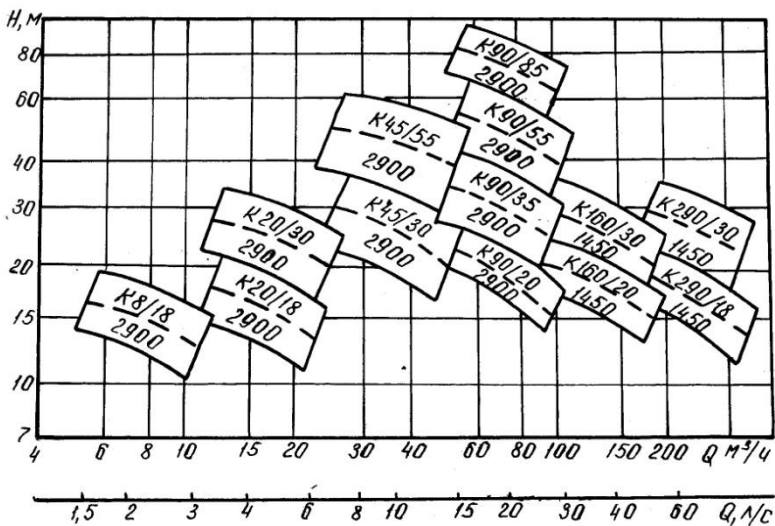


Рис. Д.1. Зведений графік полів Q – Н насосів типу К

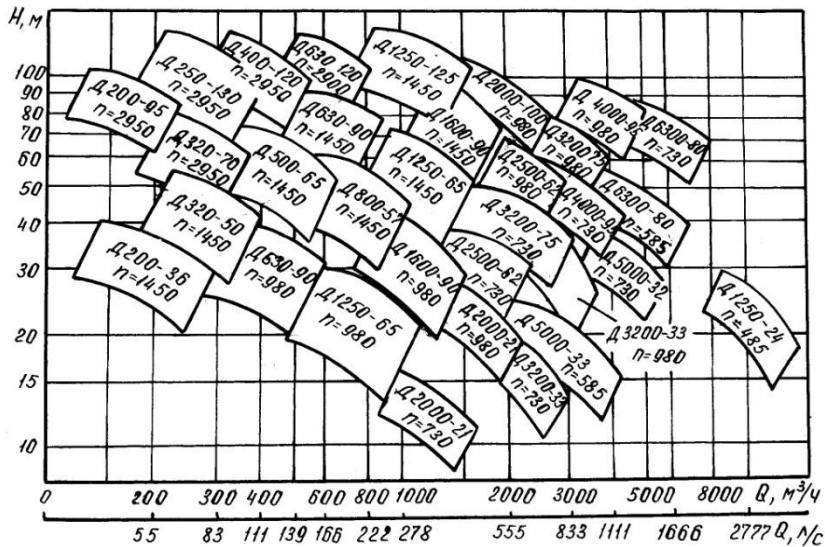


Рис. Д.2. Зведений графік полів $Q - H$ насосів типу

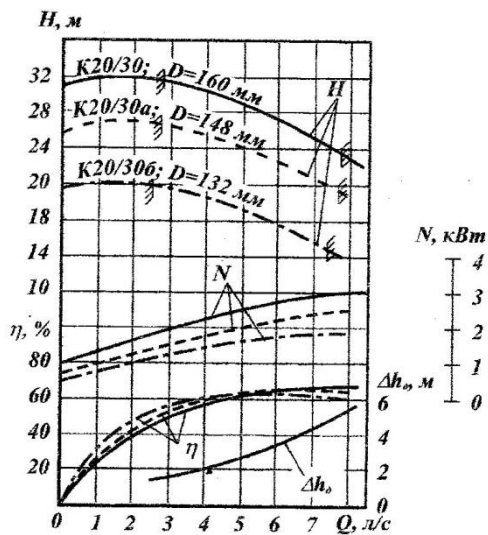


Рис. Д.3. Характеристика насоса К 20/30 ($n=2900$ об/хв)

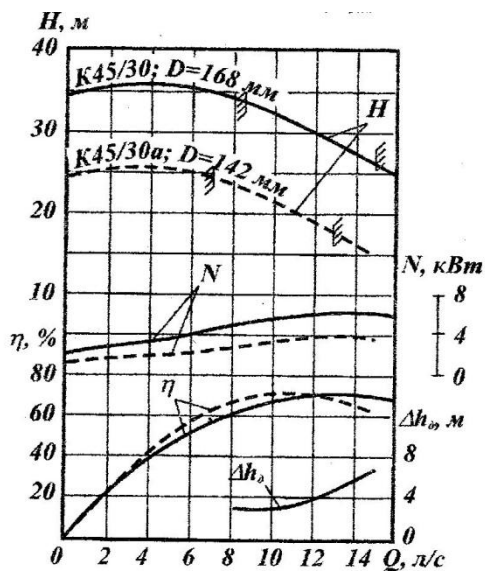


Рис. Д.4. Характеристика насоса К 45/30 ($n=2900$ об/хв)

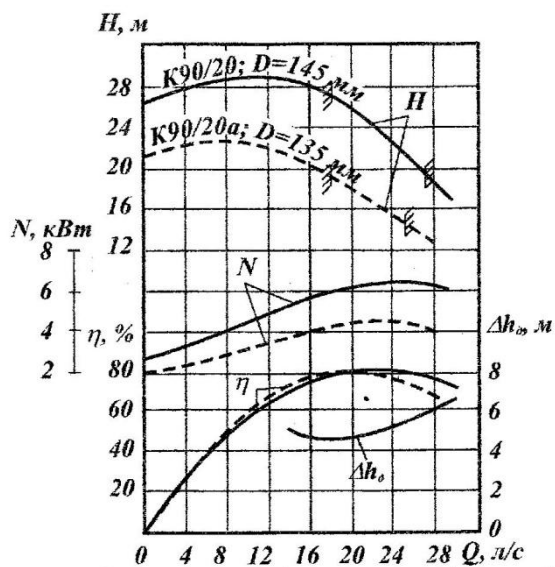


Рис. Д.5. Характеристика насоса К 90/20 ($n=2900 \text{ об/хв}$)

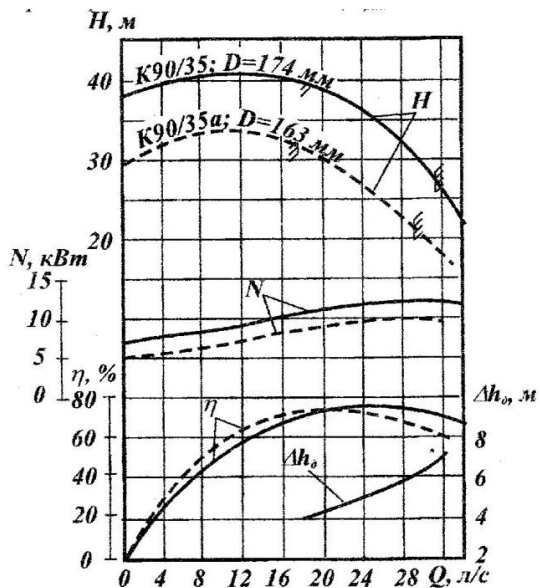


Рис. Д.6. Характеристика насоса К 90/35 ($n=2900 \text{ об/хв}$)

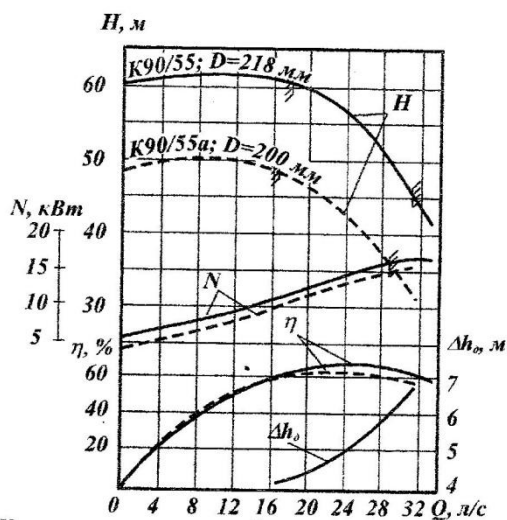


Рис. Д.7. Характеристика насоса К 90/55 ($n=2900$ об/хв)

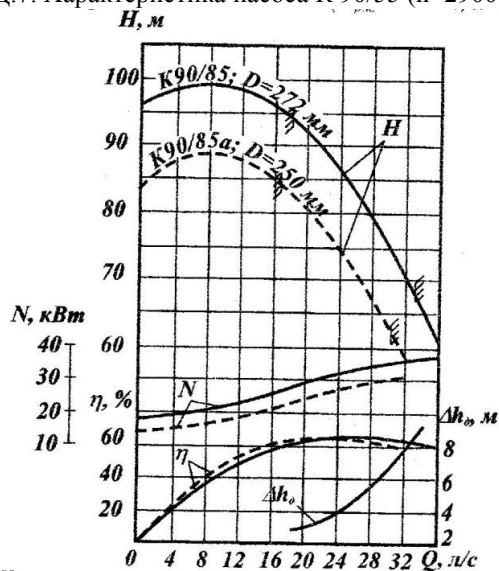


Рис. Д.8. Характеристика насоса К 90/85 ($n=2900$ об/хв)

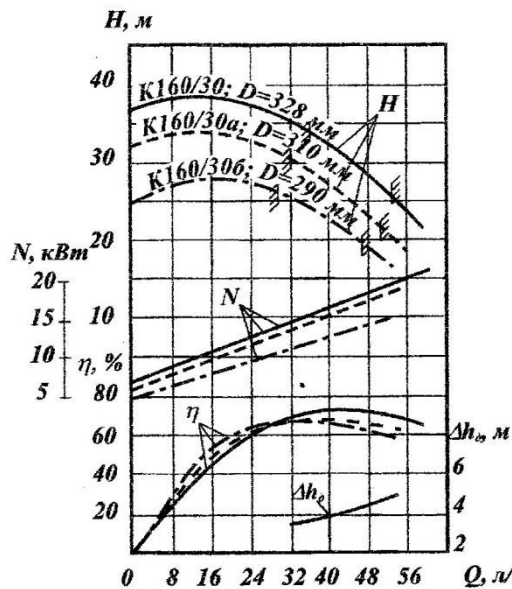


Рис. Д.9. Характеристика насоса К 160/30 ($n=1450$ об/хв)

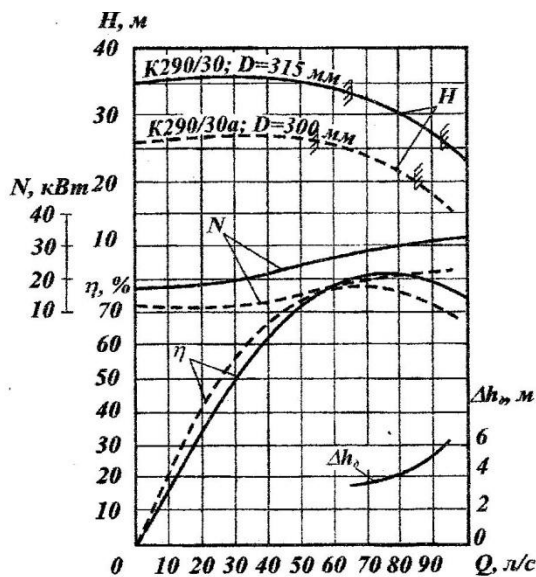


Рис. Д.10. Характеристика насоса К 290/30 ($n=1450$ об/хв)

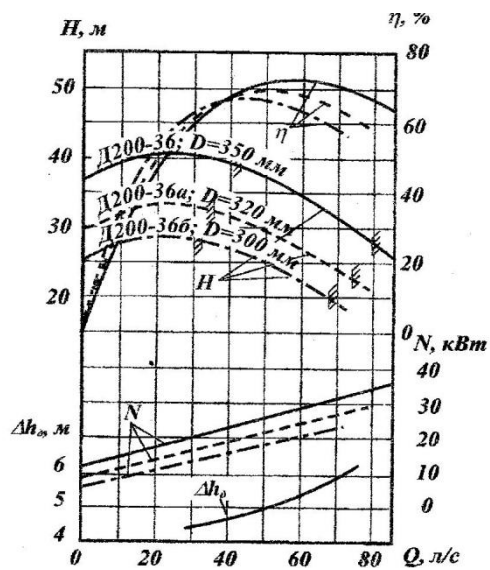


Рис. Д.11. Характеристика насоса Д 200-36 ($n=1450$ об/хв)

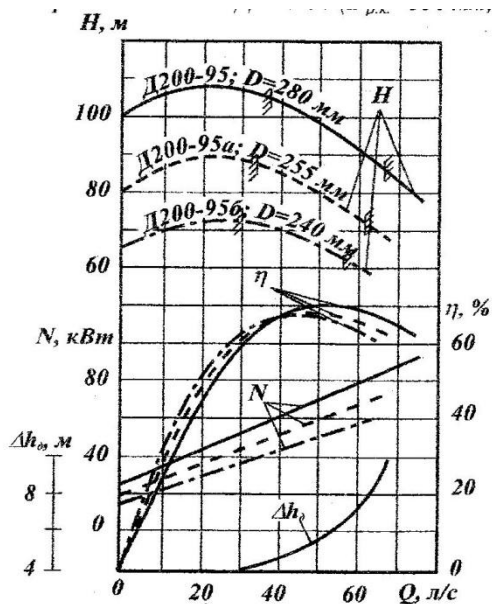


Рис. Д.12. Характеристика насоса Д 200-95 ($n=2950$ об/хв)

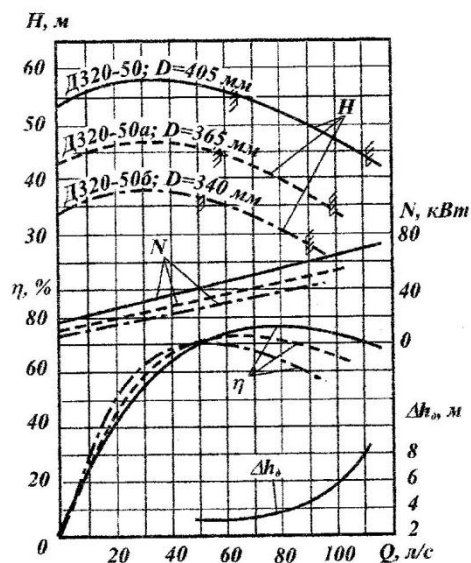


Рис. Д.13. Характеристика насоса Д 320-50 ($n=1450\text{ об/хв}$)

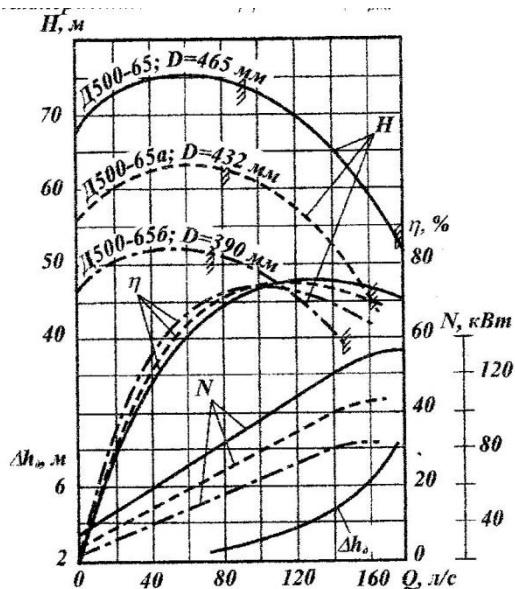


Рис. Д.14. Характеристика насоса Д 500-65 ($n=1450\text{ об/хв}$)

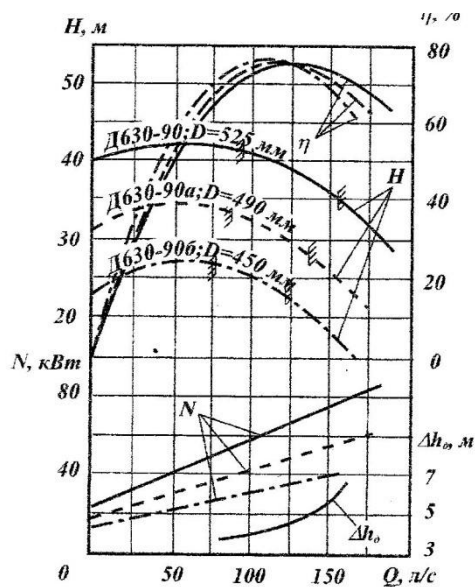


Рис. Д.15. Характеристика насоса Д 630-90 ($n=960$ об/хв)

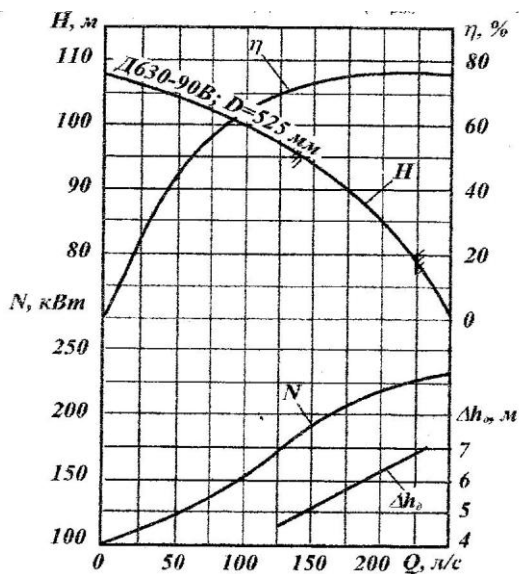


Рис. Д.16. Характеристика насоса Д 630-90В ($n=1450$ об/хв)

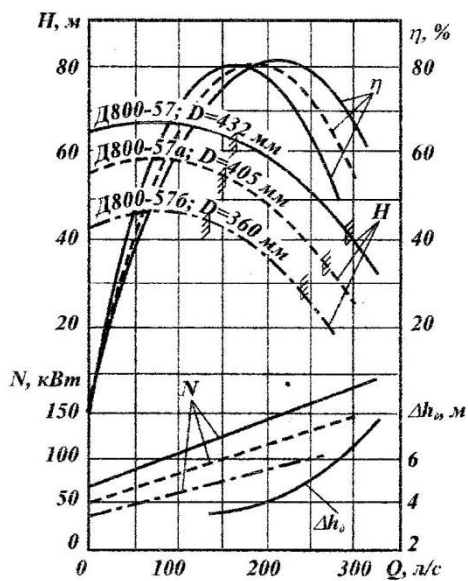


Рис. Д.17. Характеристика насоса Д 800-57 ($n=1450$ об/хв)

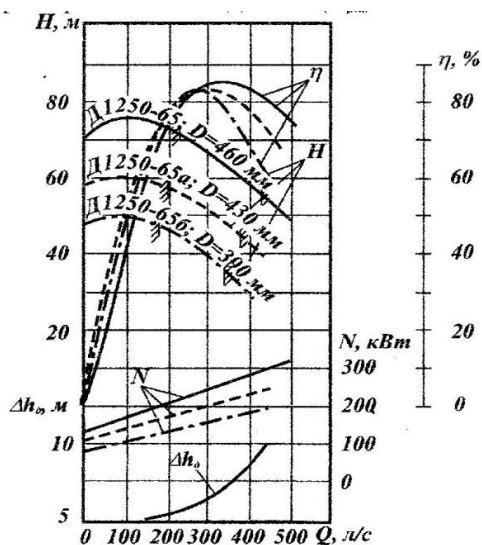


Рис. Д.18. Характеристика насоса Д 1250-65 ($n=1450$ об/хв)

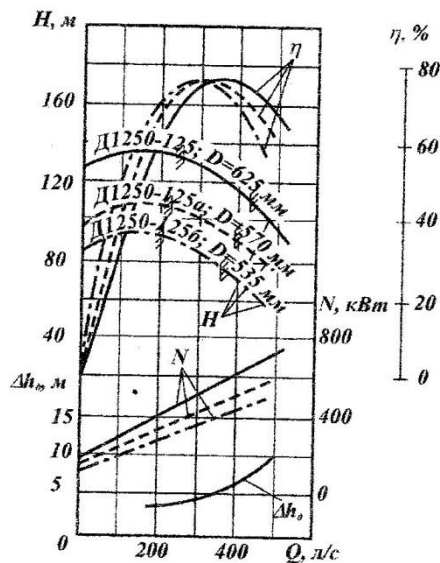


Рис. Д.19. Характеристика насоса Д 1250-125 ($n=1450$ об/хв)

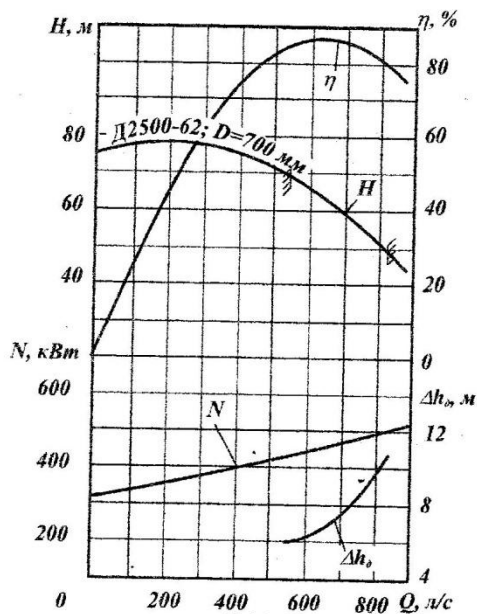


Рис. Д.20. Характеристика насоса Д 2500-62 ($n=980$ об/хв)

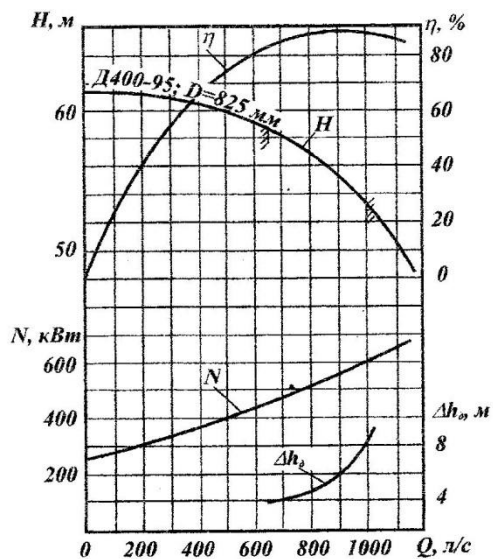


Рис. Д.21. Характеристика насоса Д 4000-95 ($n=730$ об/хв)

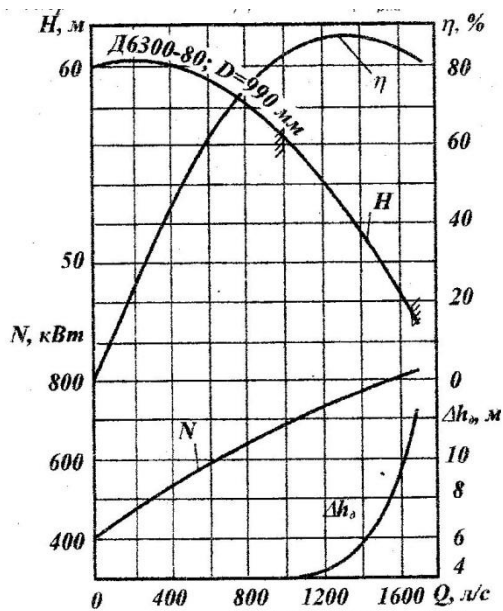


Рис. Д.22. Характеристика насоса Д 6300-80 ($n=585$ об/хв)

Розрахункові значення внутрішніх діаметрів, питомих гідравлічних опорів та коефіцієнтів гідравлічного опору сталевих трубопроводів

Діаметр умовного проходу D , мм	Розрахунковий внутрішній діаметр d_p , мм	Питомий гідравлічний опір A , $\text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$	Коефіцієнт гідравлічного опору тертя по довжині λ
100	114	$1,729 \cdot 10^2$	0,0403
125	133	76,36	0,0385
150	158	39,65	0,0365
175	170	20,79	0,0357
200	209	6,95	0,0336
250	260	2,187	0,0315
300	311	$8,466 \cdot 10^{-1}$	0,0298
350	363	$3,731 \cdot 10^{-1}$	0,0285
400	412	$1,907 \cdot 10^{-1}$	0,0274
450	466	$9,928 \cdot 10^{-2}$	0,0264
500	516	$5,784 \cdot 10^{-2}$	0,0256
600	616	$2,262 \cdot 10^{-2}$	0,0243
700	706	$1,098 \cdot 10^{-2}$	0,0233
800	804	$5,514 \cdot 10^{-3}$	0,0224
900	904	$2,962 \cdot 10^{-3}$	0,0216
1000	1004	$1,699 \cdot 10^{-3}$	0,021
1200	1202	$6,543 \cdot 10^{-4}$	0,0199
1400	1400	$2,916 \cdot 10^{-4}$	0,019
1500	1500	$2,023 \cdot 10^{-4}$	0,0186
1600	1600	$1,437 \cdot 10^{-4}$	0,0182
1800	1800	$7,7 \cdot 10^{-5}$	0,0176
2000	2000	$4,41 \cdot 10^{-5}$	0,0171
2200	2200	$2,66 \cdot 10^{-5}$	0,0166
2400	2400	$1,67 \cdot 10^{-5}$	0,0161
2600	2600	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,0158
2800	2800	$7,4 \cdot 10^{-6}$	0,0154
3000	3000	$5,1 \cdot 10^{-6}$	0,0151